

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, MINERALÓGICA, QUÍMICA E CERÂMICA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ NOS MUNICÍPIOS DE TAMBAÚ, PORTO FERREIRA E SANTA ROSA DO VITERBO - SP, VISANDO APLICAÇÃO E DIVERSIFICAÇÃO DE PRODUTOS NO POLO CERÂMICO DE SANTA GERTRUDES

Sergio Ricardo CHRISTOFOLETTI¹, Alessandro BATEZELLI², Maria Margarita Torres MORENO³

(1) Instituto Florestal - Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade - Secretaria do Meio Ambiente-SP. Avenida Navarro de Andrade S/N. CEP 13500.970. Rio Claro-SP. Endereço eletrônico: sergioricardoc@gmail.com.

(2) Departamento de Geologia e Recursos Naturais - Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas – DGRN – IG-UNICAMP. Rua João Pandiá Calógeras, 51 - Cidade Universitária - CEP 13083-870 - Campinas - SP. Endereço eletrônico: alessandro.batezelli@gmail.com.

(3) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Petrologia e Metalogenia. Avenida 24-A, 1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP - CEP 13506-90. Endereço eletrônico: mmoreno@rc.unesp.br

Resumo
Introdução
Área de Estudo e Contexto Geológico
Materiais e Métodos
Resultados
 Geologia
 Mineralogia
 Caracterização química
 Caracterização tecnológica
 Análise Granulométrica por Difração a laser
 Porosímetria de mercúrio
Discussões dos Resultados
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - O trabalho apresenta resultados do estudo da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo no Estado de São Paulo, do ponto de vista geológico, químico, mineralógico e cerâmico, com o objetivo de conhecer as reservas existentes desta unidade geológica nesta região como fonte de matéria-prima cerâmica, buscando a melhora na qualidade e diversificação dos produtos fabricados no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Inicialmente foram levantadas seções geológicas nas minerações existentes com o intuito de identificar as principais litofácies geológicas. De acordo com os levantamentos geológicos, as argilas da Formação Corumbataí são representadas pelas litofácies maciça - LM, laminada-LL, intercalada-LI e alterada-LA. A mineralogia identificada por DRX (fração total e $<2\mu\text{m}$) é composta pelos minerais quartzo, microclíneo, albita, calcita, dolomita e hematita, e pelos argilominerais illita, caulinita e montmorilonita, sendo a illita o argilomineral mais presente nas amostras analisadas. Do ponto de vista tecnológico, as amostras dos pontos 4 e 11 foram classificadas de acordo com o Grupo de absorção de água como BIII (porosa), com valores médios de 230,56 e 140,95 (Kgf/cm²) e absorção de água de 16,32% e 15,62%, e as amostras do ponto 15 como BIb (grés), com valores médios de 350,00Kgf/cm² e absorção de água de 4,10%, lembrando que os testes foram realizados em condições de laboratório.

Palavras-chave: Formação Corumbataí, matéria-prima cerâmica, argila, litofácies.

ABSTRACT - This paper presents study results of Corumbataí Formation in the municipalities of Tambaú, Porto Ferreira and Santa Rosa of Viterbo the geological point of view, chemical, mineralogical and ceramic characterization aiming to evaluate the reserves of this geological unit in this region as a source of ceramic raw material, in order to improve the quality and diversification of ceramic products in Ceramic Pole Santa Gertrudes. Geological sections were initially done in known mines in order to identify the main geological lithofacies of interest. According to geological surveys, the clayey sequence of Corumbataí Formation are represented by four lithofacies, as follow: massive-LM. laminated-LL. intercalated-LI and altered-LA. Using XRD (total and fraction $<2\mu\text{m}$) it was identified the mineral main clay minerals assembly, which is composed by illite, as major constituent, associated with kaolinite and montmorillonite. On the other hand, the non clay mineral assembly is done by quartz, microcline, albite, calcite, dolomite and hematite; and the clay minerals. From the technological point of view, samples from study poits P-4 and P-11 were classified according to the group of water absorption as BIII (porous) with average values of 230.56 and 140.95 (kgf/cm²) and water absorption of 16, 32% and 15.62% and the samples from Point 15 as BIb (gres) with average values of 350,00Kgf/cm² and absorption of 4.10% water remembering that the tests were conducted in laboratory conditions.

Key-words: Corumbataí fomatation, ceramic raw material, clay, lithofacies.

INTRODUÇÃO

A atividade minerária na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes cresceu muito nestes últimos anos e proporcionalmente a demanda pela matéria-prima tornou-se cada vez

maior. Embora o potencial volumétrico de argila seja grande, as reservas lavráveis tornam-se mais limitadas por conta de alguns fatores, tais como: planejamento inadequado da exploração mineral e do aproveitamento das reservas existentes, aumento das áreas com restrições do ponto de vista ambiental, crescimento das cidades e competição com outras formas de uso do solo. Para garantir o crescimento e a sustentabilidade do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes tornam-se necessárias a busca de novas reservas e a diversificação da gama dos produtos fabricados. Observa-se nas empresas instaladas na região a

busca por novos produtos e até mesmo a mudança no processo de fabricação (deixando a via seca, sendo este o processo utilizado do Polo e migrando para a via úmida), tendo como principal produto o porcelanato. O presente trabalho apresenta resultados do estudo das argilas da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo, tendo como principal foco o conhecimento desta unidade geológica e seu potencial tecnológico para ser utilizada nos produtos usualmente fabricados e na diversificação de novos produtos.

ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo localiza-se na região centro-leste do Estado de São Paulo, incluindo a área total dos municípios de Porto Ferreira, Tambaú e Santa Rosa de Viterbo. O acesso para o município de Porto Ferreira se dá pela

Rodovia Anhanguera (SP 330), seguindo-se depois para os municípios de Tambaú e Santa Rosa do Viterbo pela Rodovia Padre Donizete, SP 332 (Figura 1).

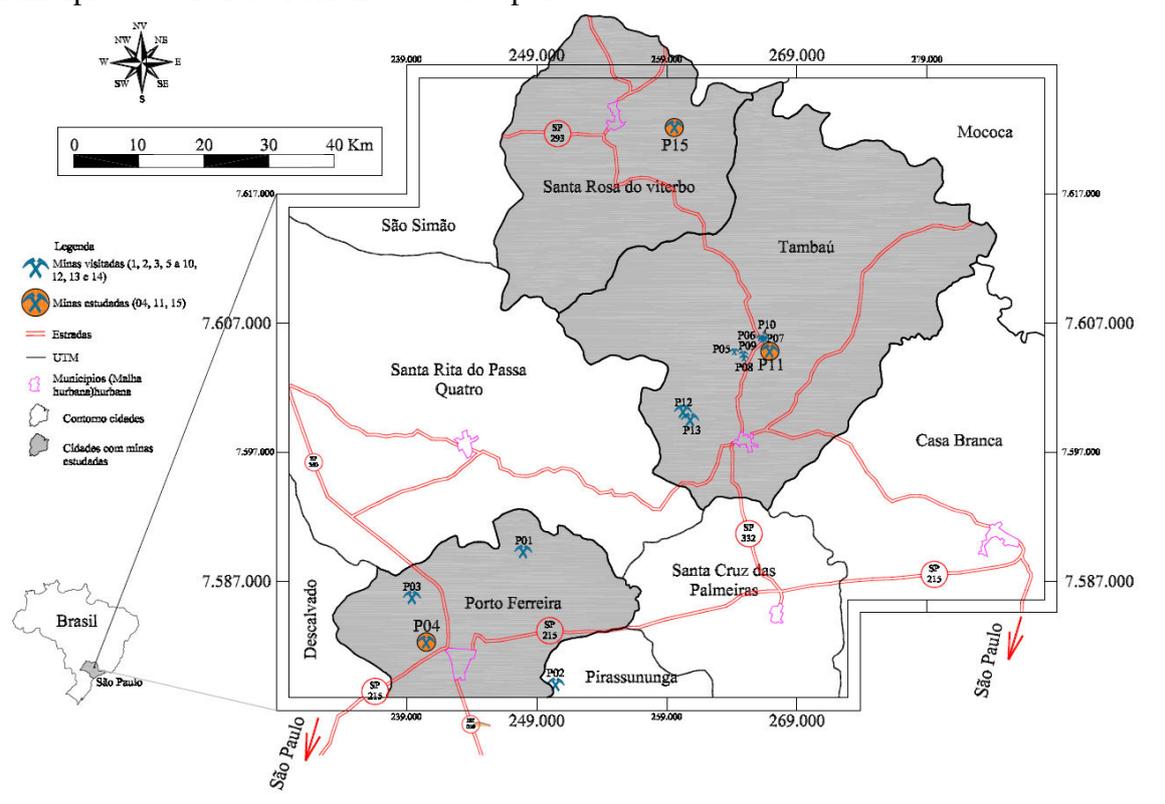


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e minas descritas.

A região estudada está inserida na Bacia do Paraná, composta pelas seguintes unidades litoestratigráficas: Subgrupo Itararé, Grupo Passa Dois (Formação Irati e Formação Corumbataí), Grupo São Bento (Formação

Piramboia e Formação Botucatu), rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral, culminando com coberturas cenozóicas e sedimentos quaternários (Figura 2).

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE RIO CLARO/LIMEIRA/PIRACICABA (SP)							
ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZOICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
				CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS	TRANSICIONAL: LAGUNA MARINHO RASO: PLATAFORMA
			TATUI		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	TRANSICIONAL: PLANÍCIE COSTEIRA MARINHO RASO: PLATAFORMA
			Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS)	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL; LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMAL
	CARBONIFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS	

Perinotto & Zaine (2008), mod. de Soares & Landim (1975)

Figura 2. Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro destaque em azul para a Formação Corumbataí (Perinotto & Zaine, 2008).

A Formação Corumbataí foi citada pela primeira vez no relatório da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo (Mezzalana, 1964) para designar os xistos argilosos e betuminosos com presença de fósseis. Entre os anos de 1960 e 1970 diversos autores estudaram essa unidade no Estado de São Paulo, principalmente na bacia hidrográfica do rio homônimo, especialmente sobre seus aspectos geológicos e conteúdo paleontológico, com destaque para Mendes (1952), Barbosa & Gomes (1958), Soares & Landim (1973), Mendes (1967), Landim (1970), Simões & Fittipaldi (1992) e Souza (1985).

Um dos trabalhos mais completos foi elaborado por Souza (1985), que estudou as fácies da Formação Corumbataí e Estrada Nova (Grupo Passa Dois) aflorantes no Estado de São Paulo. Além disto, a autora realizou a reconstrução paleoambiental e reconheceu a compartimentação da Bacia do Paraná durante o Permiano Superior. Estudos focados no conhecimento mineralógico, químico e tecnológico na área de estudo são escassos, sendo que apenas Souza Campos et. al. (2010 e 2011) estudaram essas argilas buscando a melhora e a diversificação de produtos do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 3 ilustra a sequência do desenvolvimento do estudo, iniciando com os trabalhos de escritório que consistiram em uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto, seguida da elaboração de mapas bases para o

acompanhamento e prosseguimento dos trabalhos de campo, objetivando identificar as litofácies da Formação Corumbataí na área de estudo. Observou-se que as melhores exposições da Formação Corumbataí se

encontram em minerações ativas e inativas. Foram levantadas 16 seções colunares, onde foram identificadas as principais litofácies cerâmicas seguindo a metodologia proposta por Miall (1994). Foram feitas a documentação fotográfica e coleta de amostras, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório para análises mineralógicas por Difratomia de Raios X, geoquímica por ICP OES (espectrometria de emissão atômica com

plasma acoplado indutivamente) e ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente) fundidas com metaborato de lítio e caracterização tecnológica cerâmica. Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos de três seções: Seção ponto 4, localizada no município de Porto Ferreira, Seção ponto 11, localizada no município de Tambaú e Seção ponto 15 no município de Santa Rosa de Viterbo.

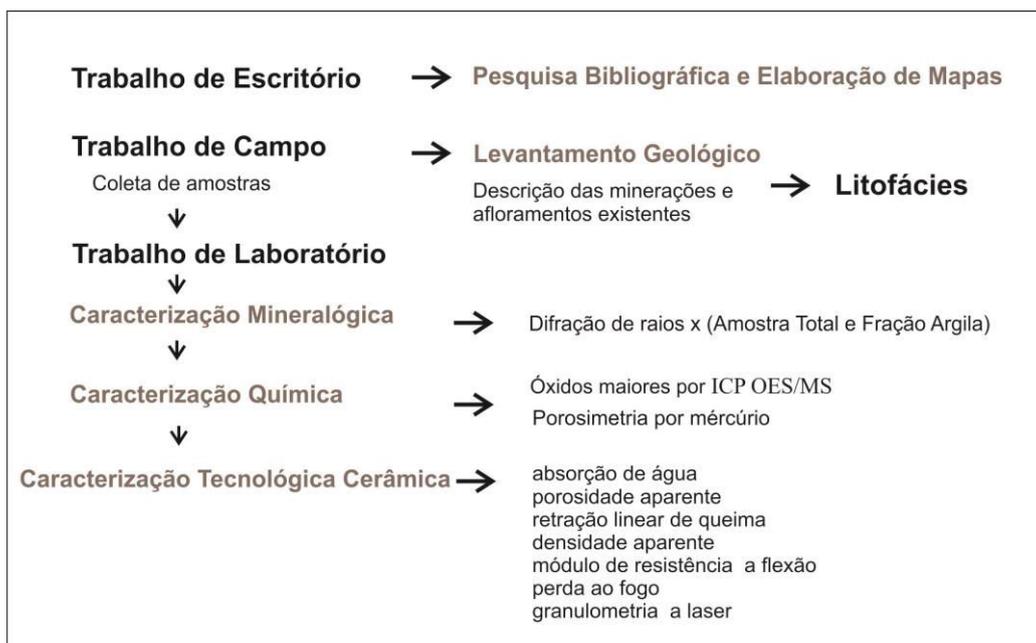


Figura 3. Fluxograma das etapas de trabalho desenvolvidas.

A caracterização mineralógica foi realizada por difração de raios X, onde as amostras foram analisadas na sua constituição total e na fração argila < 2 μ m. Para a identificação dos argilominerais foi feita a separação da fração argila a partir de amostras moídas, a qual foram dispostas em lâminas de vidro e submetidas à secagem natural, solvatada com etileno-glicol durante 48 horas e aquecidas em forno mufla à temperatura de 500°C durante duas horas. A interpretação dos difratogramas foi realizada por meio do *software X'Pert HighScore Plus* da *Panalytical*.

Para a análise geoquímica, uma fração das amostras previamente moídas foi encaminhada para a SGS GEOSOL Laboratórios Ltda., onde foram determinados os óxidos dos elementos maiores por ICP - OES/MS (Tabela II). Após a identificação mineralógica e química, algumas amostras foram selecionadas para a caracterização tecnológica cerâmica com o objetivo de avaliar as propriedades destas

argilas. Inicialmente as amostras foram quarteadas, moídas em moinhos de martelo da marca Servitec munido de peneira de 1mm, umidificadas a 9%, prensadas em corpos de prova de dimensão 2 x 7 cm e queimadas em forno de laboratório programado na temperatura máxima de 1050°C. Os testes realizados após a queima foram: absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, retração linear de queima e de secagem, módulo de resistência à flexão e perda ao fogo. Todos os ensaios tecnológicos cerâmicos seguiram a Norma ABNT 13818-1997 e foram realizados em condições laboratoriais no LabCer do Instituto de Geociências da Unesp, Rio Claro.

A análise granulométrica foi realizada pela técnica de difração de laser no equipamento Mastersizer 2000 da Malvern, na qual uma alíquota da amostra moída foi colocada em uma solução de água e três gotas de hexametáfosfato de sódio (10%), aplicando 15s de ultra-som

com deslocamento ultrassônico de 12,5 conforme escala do equipamento.

Já a análise da porosimetria por injeção de mercúrio foi realizada com intuito de obter a distribuição de diâmetros de poros a partir dos

dados pressão-volume durante a penetração de mercúrio numa amostra do corpo de prova prensado a seco a 110°C. O equipamento utilizado foi o da marca *Micromeritics PoreSizer* 9320.

RESULTADOS

Geologia

Foram descritas três seções colunares nas etapas de trabalhos de campo: Seção ponto 4, Seção ponto 11 e Seção ponto 15 (Figuras 4, 5 e 6). A análise de fácies segue a proposta de Miall (1994), contemplando aspectos composicionais, texturais, estruturas

sedimentares e conteúdo fossilífero. A partir dessa análise os depósitos da Formação Corumbataí apresentaram as seguintes litofácies: Maciça – M, Siltito laminado – SL, Intercalada – IS, Intercalada Arenosa - IA e Alterada – A (Tabela I).

Tabela I. Litofácies identificadas

Litofácies	Litologia	Granulometria	Cor	Estrutura
Maciça - LM	siltito	Argilosa	Vermelho claro/escuro, cinza e verde	Maciça
Siltito laminado SL	Argilito com lamina de areia muito fina	Argilosa	Vermelho, verde e roxo	Laminação plano paralela
Intercalada Siltosa-IS	Siltito	Argilosa	Vermelho, verde e cinza	Laminação plano paralela
Intercalada Arenosa-IA	Arenito e siltito	Arenosa e argilosa	Vermelho, cinza, arroxeadas e banca	Estratificação cruzada e lenticular
Litofácies Alterada - A	siltito	Argilosa		Sem estruturas

Mineralogia

Os minerais identificados por Difractometria de Raios X pertencem aos seguintes grupos: óxidos, carbonatos, silicatos “tectossilicatos” e os filossilicatos, sendo estes representados pelos argilominerais (Figuras 4, 5 e 6). O grupo dos silicatos é o mais presente nas amostras estudadas, sendo o quartzo o que mais se destaca nos difratogramas, seguido do microclíneo e da albita. O quartzo ocorre em todos os difratogramas da amostra total apresentando seu pico principal com distância interplanar $d_{001}=3.33\text{Å}$, o de segunda ordem $d_{002}=4.26\text{Å}$ e o de terceira ordem $d_{003}=1.81\text{Å}$. O microclíneo representa o feldspato potássico com seu pico principal de $d=3.24\text{Å}$. Já o plagioclásio ocorre na forma de albita (pico principal em $d=3,19\text{Å}$), associado na maioria

das vezes ao feldspato microclíneo, podendo apresentar neste caso um pequeno deslocamento de tal forma que sua localização fica entre os valores citados acima, podendo ser diferenciado no pico secundário em $d_{001}=3.78\text{Å}$. Nas amostras do ponto P11 estes minerais ocorrem com frequência elevada (Figura 5).

Os carbonatos são representados pelos minerais calcita e dolomita, ocorrendo em pequenas quantidades, na maioria das vezes associados. Estes carbonatos podem ocorrer na matriz da própria rocha ou na forma de veios e nódulos. A calcita apresenta pico principal de intensidade $d_{001}=3.00\text{Å}$ e a dolomita com intensidade principal de $d_{001}=2.88\text{Å}$. A calcita ocorre em grandes quantidades nas amostras P11-A5 e P11-A6 e a dolomita no ponto P11-

A2 (Figura 5). A hematita representa o óxido principal, apresentando menor intensidade dos picos em relação aos demais minerais, com o mais intenso correspondendo a $d_{001}=2.69\text{\AA}$.

Este mineral ocorre em pequenas quantidades nas amostras dos pontos 4 e 15, não sendo observado nas amostras do ponto 11 (Figuras 4 e 6).

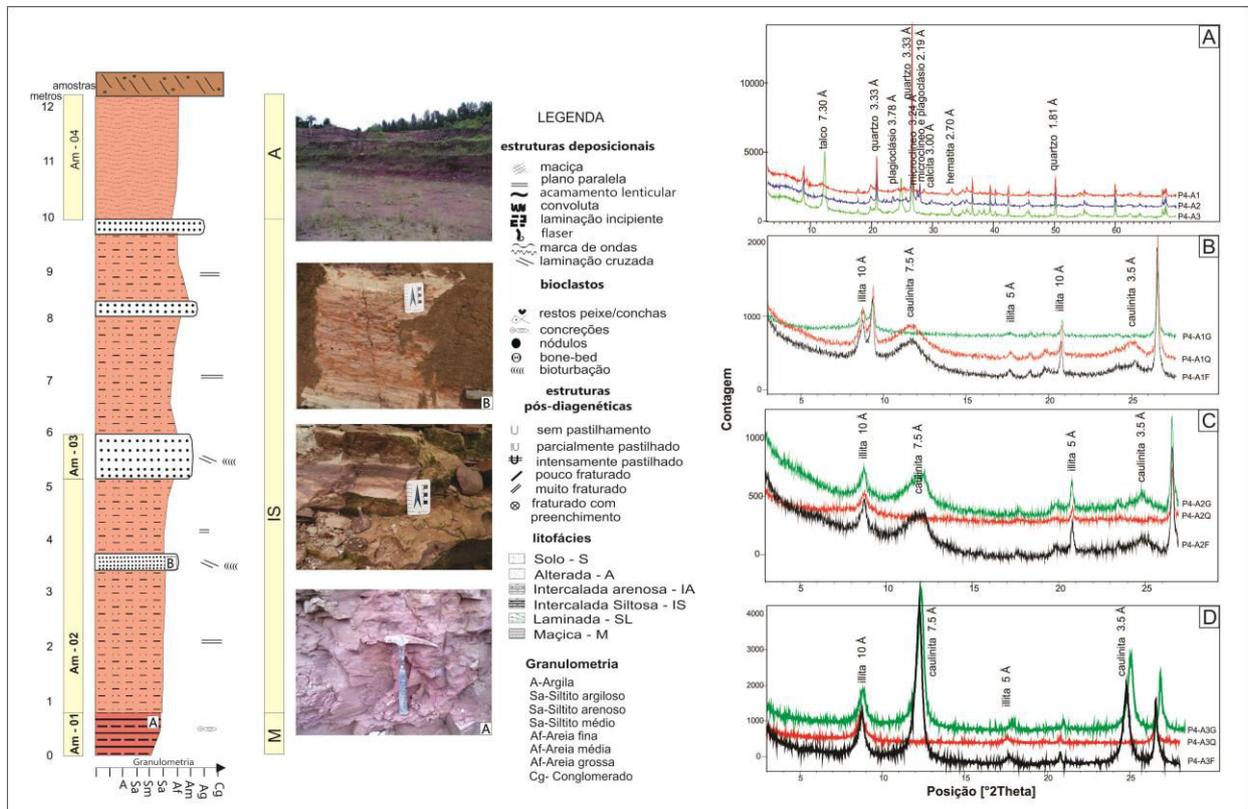


Figura 4. Empilhamento de fácies e mineralogia do Ponto 04

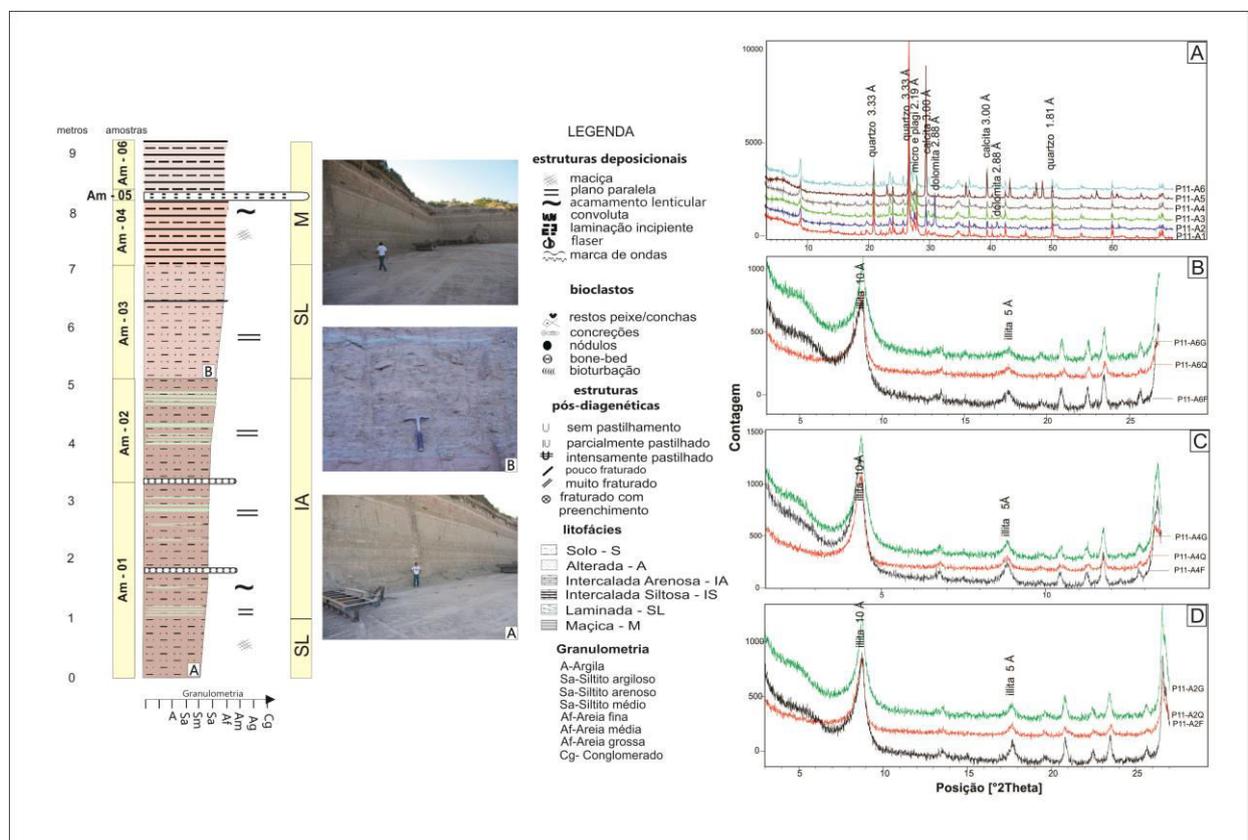


Figura 5. Empilhamento de fácies e mineralogia do Ponto 11.

Os filossilicatos illita, caulinita e montmorilonita representam o grupo de argilominerais encontrados nas amostras estudadas. A illita representa o argilomineral dominante, sendo encontrada em todas as amostras com distância interplanar principal d_{001} de 10\AA nas três condições submetidas ao aparelho (natural, glicolada e queimada), $d_{002}=4.98\text{\AA}$ e d_{003} de 3.32\AA (Figura 4, 5 e 6). Já a caulinita ocorre em menores quantidades, porém no ponto 4 esta aparece como o

argilomineral dominante, apresentando distância interplanar de 7\AA na condição natural e quando submetida ao aquecimento seu pico desaparece, o d_{002} é de 3.58\AA e $d_{003} = 4.36\text{\AA}$. Com relação aos minerais expansivos, a montmorilonita ocorre nas amostras do ponto 15, sendo mais evidente na amostra P15-A6, apresentando pico $d=14\text{\AA}$ na condição natural e 17\AA quando submetida ao tratamento com etilenoglicol (Figura 6).

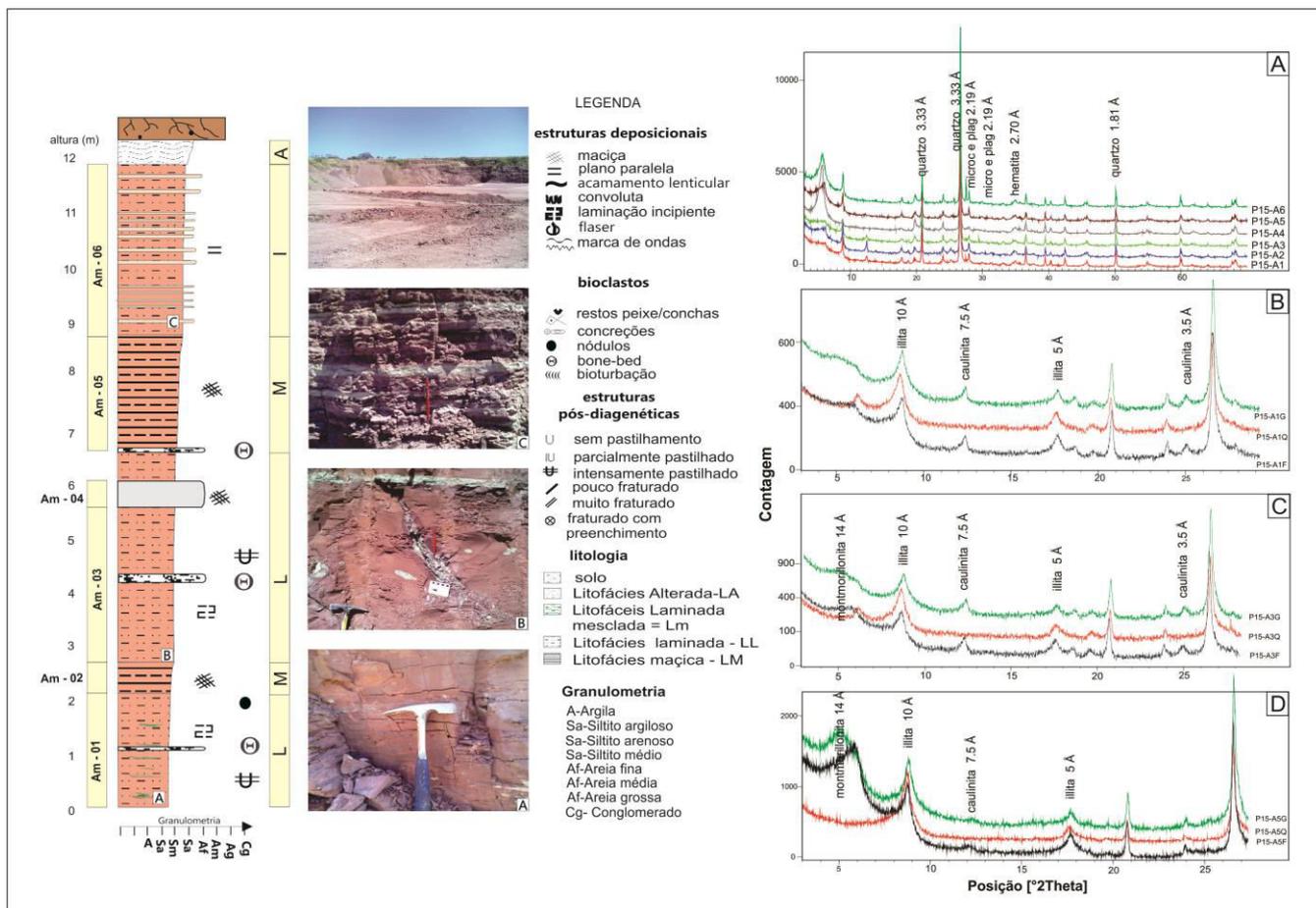


Figura 6. Empilhamento de fácies e mineralogia do Ponto 15

Caracterização química

Os elementos maiores foram analisados por ICP OES/MS onde as amostras foram fundidas com metaborato de lítio (Tabela II). A sílica (SiO_2) é o elemento mais abundante em todas as amostras dos três pontos estudados, com valores médios de 60% para o ponto 4, 60,11% no ponto 11 e 65,5% para o ponto 15. Outro óxido presente em quantidades elevadas é o Al_2O_3 ocorrendo com maior frequência nas amostras do ponto 4 com valores médios de 18,60%. Nas amostras da seção do Ponto 11, o valor médio encontrado foi de 10.64% e no

ponto 15 de 13,94%. Os óxidos SiO_2 e Al_2O_3 conferem propriedades refratárias às massas cerâmicas. Os óxidos alcalinos Na_2O e K_2O são os principais responsáveis pelo processo de sinterização durante o processo de queima, uma vez que os alcalino terrosos, CaO e MgO , são gerados a partir dos carbonatos e sulfatos liberando gases que causam porosidade nos corpos de prova (Barba et al, 1997). O CaO apresentou baixas porcentagens nos pontos 4 e 15 com valores de 0.05% e 0.95%, sendo elevado nas amostras do ponto 11 com valores de 5,85%, sendo que na amostra P11-A5

apresentou valor de 21,41%. Já o MgO apresentou valores de 1,52% para o ponto P4, de 2,47% para o P11 e de 3,00% para o P15, sendo estes considerados normais para esta unidade geológica (Christofolletti, 2003).

O elemento K₂O apresentou valores de 2,05% para o ponto 4, 5,96% para o ponto 11 e 2,96% para o ponto 15. O Na₂O apresentou valores baixos com 0,33% para o ponto 4, 0,77% para o ponto 11 e 0,47% para o ponto 15. Esses valores são baixos quando comparados com os valores desta unidade na região do polo cerâmico de Santa Gertrudes (Christofolletti, 2003). Desta forma, o potássio é o elemento que poderia contribuir mais para formação de fase líquida durante a queima, desde que se encontre no argilomineral illita, a qual libera esse elemento a baixas temperaturas,

ao contrário do feldspato potássico que nos processos de queima aplicados permanece praticamente inalterado (Barba et al, 1997). O Fe₂O₃ é importante, pois confere cor ao produto cerâmico e auxilia na sinterização. Em geral, todos os minerais de ferro se transformam em hematita a temperaturas superiores a 200-400°C, intensificando a cor vermelha; porém se o aquecimento ocorre a temperaturas maiores que 1100-1150°C há uma tendência à formação de óxidos de ferro 2+, de cor escura, dando cores com tendência a marrom (Barba et al, 1997). A hematita (Fe₂O₃) ocorreu com maior frequência nas amostras do Ponto 4, com valores médios de 6,32%. Nas amostras dos pontos 11 e 15 apresentou valores médios de 3,15% e 4,63%.

Tabela II. Óxidos maiores em %.

Amostras	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI
P4-A1	18,66	0,04	6,76	1,63	2,62	0,18	0,04	0,03	58,53	0,89	6,92
P4-A2	17,35	0,11	5,10	3,00	1,33	0,10	0,88	0,04	62,52	0,72	5,07
P4-A3	19,81	0,01	7,12	1,53	0,61	0,07	0,07	0,15	57,73	0,89	7,05
Média	18,60	0,05	6,32	2,05	1,52	0,11	0,33	0,07	60,0	0,83	6,34
P11-A1	11,28	2,32	3,22	5,69	2,24	0,03	1,01	0,22	65,10	0,48	3,84
P11-A2	9,83	8,81	3,19	5,58	4,84	0,10	0,69	0,09	51,73	0,37	12,02
P11-A3	12,47	1,50	3,21	7,2	2,05	0,03	0,91	0,19	65,61	0,46	3,18
P11-A4	12,56	0,47	4,08	6,96	2,5	0,05	0,84	0,1	64,65	0,50	2,73
P11-A5	3,97	21,41	1,46	2,18	1,03	0,10	0,18	0,03	49,36	0,15	18,43
P11-A6	13,71	0,57	3,75	8,14	2,16	0,04	0,88	0,13	64,24	0,51	2,31
Média	10,64	5,85	3,15	5,96	2,47	0,58	0,75	0,13	60,11	0,41	7,08
P15- A1	13,25	0,73	4,38	2,96	2,99	0,04	0,61	0,19	69,26	0,53	3,93
P15-A2	14,76	0,45	5,04	3,12	3,33	0,04	0,64	0,06	62,71	0,67	4,62
P15-A3	13,69	2,29	4,75	2,92	3,17	0,05	0,47	1,05	62,60	0,54	4,61
P15-A4	12,67	0,85	3,40	1,61	2,72	0,03	0,36	0,07	69,60	0,30	5,68
P15-A5	14,96	0,63	6,04	3,27	3,21	0,07	0,40	0,11	62,31	0,65	4,94
P15-A6	14,26	0,73	4,17	2,68	2,57	0,04	0,33	0,11	66,57	0,59	5,06
Média	13,94	0,95	4,63	2,76	3,00	0,05	0,47	0,26	65,50	0,55	4,80

Caracterização Tecnológica

De acordo com os resultados cerâmicos mostrados na Tabela III, observou-se que as amostras dos pontos 4 e 11 apresentaram valores baixos de módulo de resistência a flexão, fato que se deve, no primeiro caso (230,56 Kgf/cm²) pelo maior teor de caulinita que deixa o material mais refratário, e no segundo (140,95 Kgf/cm²), pela presença de carbonatos que deixam os corpos de prova queimados com maior porosidade devido à

liberação de CO₂. Já as amostras do ponto 15 apresentaram valores altos com média de 350,00 Kgf/cm² para a resistência mecânica à flexão. Como consequência, a absorção de água para os pontos 4 e 11 foi elevada, com valores médios de 16,32% e de 15,62% respectivamente, enquadrando-se no Grupo BIII de absorção de água, com valores de absorção de água entre 10 a 20% e módulo de resistência a flexão entre 150 a 200 Kgf/cm², sendo denominados comercialmente como

“poroso”. As amostras do ponto 15 em sua maioria foram classificadas dentro do Grupo BIb de absorção de água, com valores entre 0,5% e 3,0% de absorção de água e de 300 a 450 kgf/cm² de módulo de ruptura à flexão, exceção feita para a amostra P15-A4, que contém mais quartzo e menos albita e illita (Figura 6). A maioria das amostras desta seção é classificada comercialmente como grés (Tabela III). Estes resultados satisfatórios para as amostras do ponto 15 em relação aos pontos 4 e 11 referem-se à presença de albita e illita, minerais que liberam Na e K nas temperaturas ensaiadas, proporcionando a formação de fase

líquida; por outra parte, as amostras que contém o argilomineral montmorillonita se caracterizam por ter granulometria fina, conferindo-lhe maior plasticidade e contribuindo no preenchimento dos microporos durante a prensagem, conferindo assim uma melhor sinterização dos corpos de prova após queima (Tabela III).

Os valores de retração de queima nos pontos estudados refletem os valores de resistência à flexão, sendo valores baixos nas amostras dos pontos 4 e 11, de 3,25% para o ponto 4 e 3,73% para o ponto 11 e de 5,64% para o ponto 15.

Tabela III. Resultados cerâmicos dos corpos de prova queimados a 1050°C.

Resultados Cerâmicos							
Amostras	MRF (Kgf/cm ²)	AA (%)	PA (%)	Dseco (g/cm ³)	RLQ (%)	GABS	Nome
P4-A1	310.71	14,70	28,41	1,77	3,97	BIII	poroso
P4-A2	240.00	11,06	23,39	1,86	3,57	BIII	poroso
P4-A3	140.98	17,94	32,90	1,81	2,54	BIII	poroso
Média	230.56	16,32	30,65	1,64	3,25		
P11-A1	140.00	8,61	17,86	1,92	2,88	BIII	poroso
P11-A2	100.87	16,15	24,49	1,87	1,91	BIII	poroso
P11-A3	110.02	9,89	19,98	1,82	3,24	BIII	poroso
P11-A4	220.23	4,55	10,24	1,78	7,42	BIb	semi-poroso
P11-A5	120.00	32,42	47,19	1,79	1,06	BIII	poroso
P11-A6	190.56	10,46	21,13	1,85	3,17	BIII	poroso
Média	140.95	15,62	25,76	1,84	3,73		
P15-A1	340.00	2,24	5,29	1,94	6,97	BIb	grés
P15-A2	410.60	1,34	3,28	1,97	7,82	BIb	grés
P15-A3	320.62	2,22	5,19	1,92	7,09	BIb	grés
P15-A4	220.14	13,26	25,20	1,79	2,85	BIII	poroso
P15-A5	490.64	1,48	3,63	1,95	8,59	BIb	grés
P15-A6	290.90	4,05	9,35	1,97	5,46	BIIa	semi-grés
Média	350.00	4,10	8,66	1,92	5,64		

Tabela IV. Classificação dos Grupos de revestimentos cerâmicos segundo a ABNT (1997), aplicadas a peças de dimensão 2x7cm.

Absorção de água	Módulo de ruptura	Grupo ABS	Nomenclatura Comercial
0 a 0,5 %	300 a 500 kgf/cm ²	BIa	Porcelana
0,5 a 3,0 %	300 a 450	BIb	Grés
3,0 a 6,0 %	320 a 350	BIIa	Semi-grés
6,0 a 10,0 %	180 a 300	BIIb	Semi-poroso
10 a 20 %	150 a 200	BIII	Poroso

Análise granulométrica por Difração a laser

Os gráficos da figura 7 mostram a distribuição granulométrica das amostras moídas por via seca e analisadas por difração a laser. Observa-se nos gráficos um

comportamento multimodal nas diferentes faixas granulométricas. As maiores concentrações das partículas se encontram na faixa de 10 a 100 µm (Figura 7 e Tabela V) com valor médio de 50,88% para todas as

amostras analisadas. De acordo com escala granulométrica de Wentworth (1922) as amostras são classificadas como siltito grosso. Em seguida predomina a faixa granulométrica de 1 a 10 μm com valores médios de 35,58% classificado também como siltito grosso. Segue-se com valores de 9,95% para o intervalo de 10-1000 μm classificado com siltito fino a médio e 3,67% μm para o intervalo de 0,01-1 μm sendo estes constituídos essencialmente por argilominerais.

De acordo com a amostra P4-A1, Figura 7, a maior frequência das partículas encontra-se no intervalo de 10-100 μm com valores de 63,95% para a amostra P4-A1 e de 66,12% para a amostra P4-A2, sendo classificado de acordo com Wentworth (1922) de siltito grosso a areia muito fina. A amostra P4-A3 apresenta um comportamento diferenciado das demais com

valor de 50,49% na faixa granulométrica de 1-10 μm . O gráfico da Figura 7 evidencia uma concentração muito alta de sedimentos grossos entre a frequência de 1 a 100 μm e uma baixa frequência nas demais faixas granulométricas.

No ponto P11 as maiores concentrações das partículas ficaram no intervalo de 1-10 μm e de 10 a 100 μm com valores médios de 27,53% e 53,81% respectivamente, sendo classificados como siltitos médios a grossos. No intervalo de 100 a 1000 μm apresentou a maior frequência de grãos dentre os pontos analisados com 12,60%. Isto provavelmente deve-se ao fato da elevada presença de feldspatos e carbonatos sendo classificado como siltito fino. No intervalo de 0,01-1 μm as amostras apresentaram valor médio de 3,96%, sendo classificado como argila.

Tabela V. Intervalos de distribuição de partículas por difração a laser

Amostras	Diâmetro das partículas em μm			
	0.01-1	1-10	10-100	100-1000
P4-A1	3,74	32,28	63,95	0,82
P4-A2	3,39	29,67	66,12	0,82
P4-A3	8,36	50,49	41,14	0,00
Média	5,16	37,48	57,07	0,55
P11-A1	3,03	25,18	58,31	13,47
P11-A2	3,35	27,19	53,81	15,65
P11-A3	3,46	22,55	58,67	15,31
P11-A4	3,59	31,78	55,74	8,88
P11-A5	6,18	30,34	44,24	19,24
P11-A6	4,18	27,88	64,74	3,00
Média	3,96	27,53	53,81	12,60
P15- A1	3,54	35,47	38,06	23,38
P15-A2	4,48	43,16	41,12	11,24
P15-A3	2,64	33,37	52,62	11,30
P15-A4	4,01	37,06	55,69	3,23
P15-A5	3,70	41,29	47,36	7,68
P15-A6	3,13	39,24	54,72	2,91
Média	3,58	38,26	48,26	9,96
Média Geral	3,67	35,58	50,88	9,95

No ponto 15 também predomina a maior concentração na faixa granulométrica de 10 a 100 μm (48,26%) e de 1 a 10 μm (38,26%). Na faixa 100-1000 μm o valor médio é de 9,96% e na faixa de 0,01 a 10 de 3,58%. A maioria das

amostras das três seções apresentaram maior concentração nas faixas granulométricas de 10-100 e 100-1000 μm diversificando o empacotamento obtido durante a prensagem e, portanto, os contatos entre as partículas.

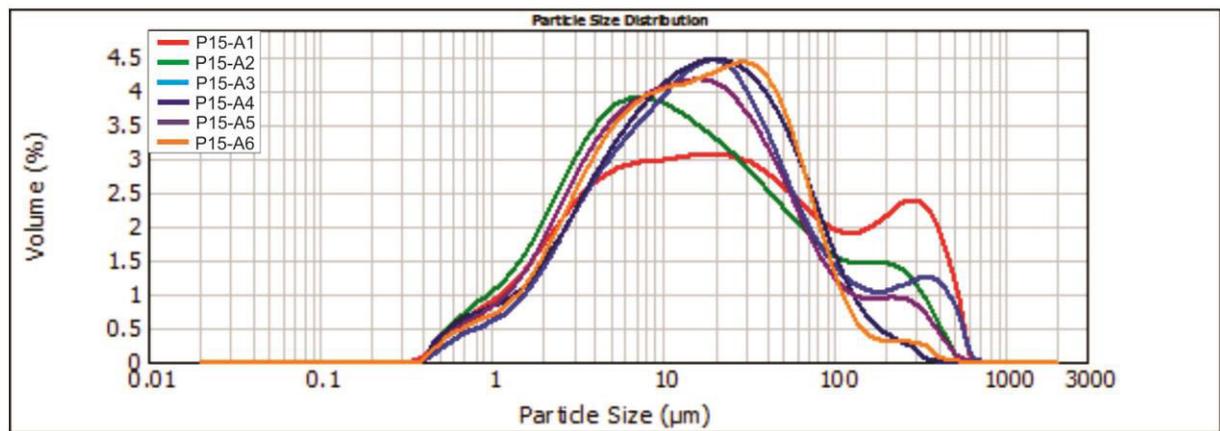
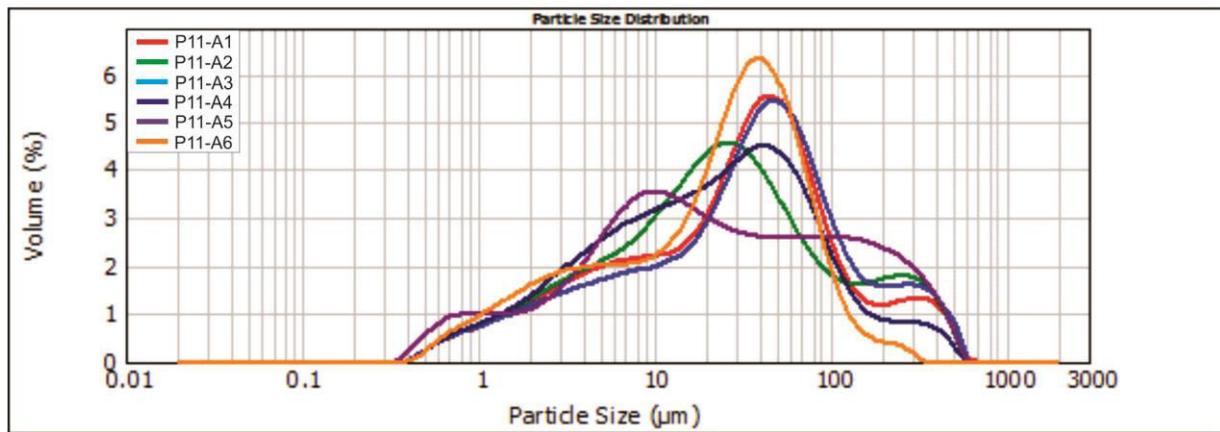
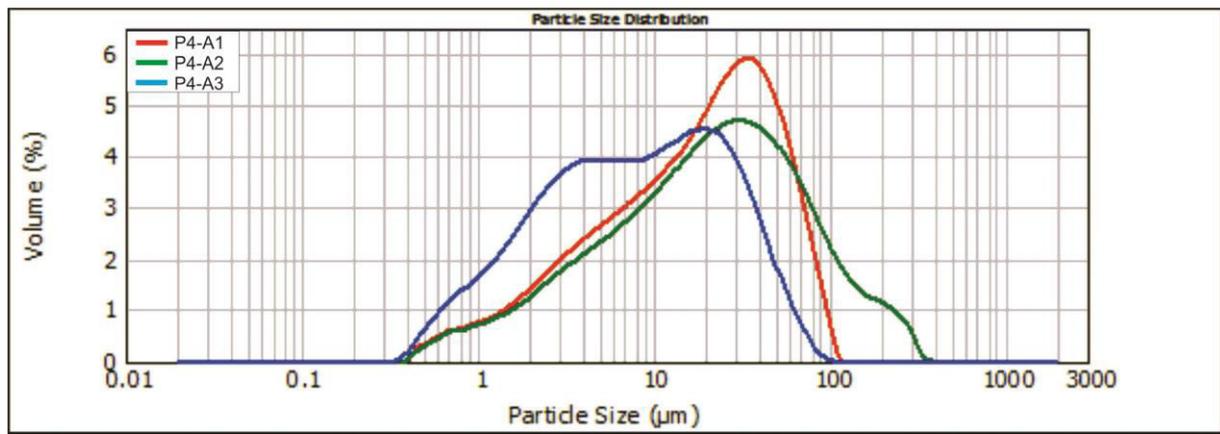


Figura 7. Distribuição granulométrica a laser dos pontos 4, 11 e 15.

Porosimetria de mercúrio

As análises através da técnica de porosimetria de mercúrio comprovaram os resultados cerâmicos, onde as amostras P4-A3 e P11-A2 apresentaram-se mais porosas. A amostra P4-A3 apresentou 80% dos poros com diâmetro de intrusão entre 0,05 e 1,00 µm e densidade aparente de 1,644 g/cm³, ao passo que na amostra P11-A2 80% dos poros presentes apresentaram diâmetros entre 0,04 e 0,7 µm e densidade aparente de 1,766 g/cm³

(Tabela VI e Figura 8). Estes resultados indicam que o empacotamento dos grãos entre os materiais plásticos e não plásticos foi relativamente baixo. Já a amostra P15-A2 apresentou-se menos porosa, com 80% dos poros entre 0,05-0,6 µm e com densidade aparente de 1,88 g/cm³, indicando uma melhor distribuição dos grãos para o processo de prensagem, favorecida pela maior presença de minerais argilosos.

Tabela VI. Valores encontrados da análise por Porosimetria de mercúrio

Amostras	D média (μm)	80% dos poros entre (μm)	Densidade g/cm^3	Aparente
P4-A3	0,11	0,05-1,00	1,644	
P11-A2	0,18	0,04-0,7	1,766	
P15 -A2	0,14	0,05-0,6	1,883	

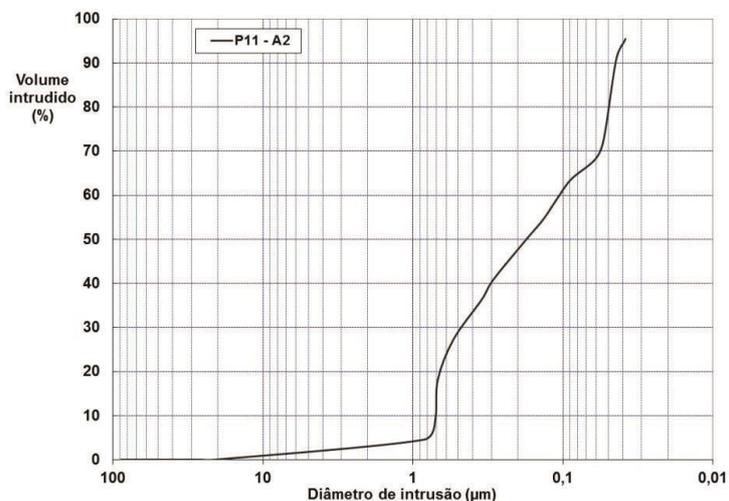
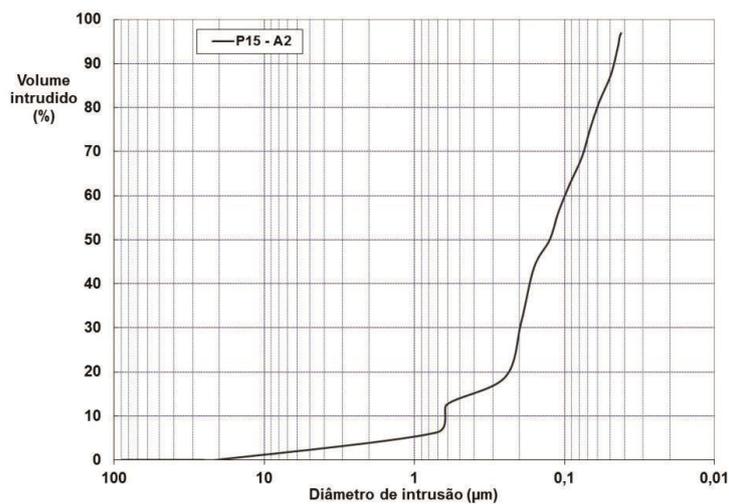
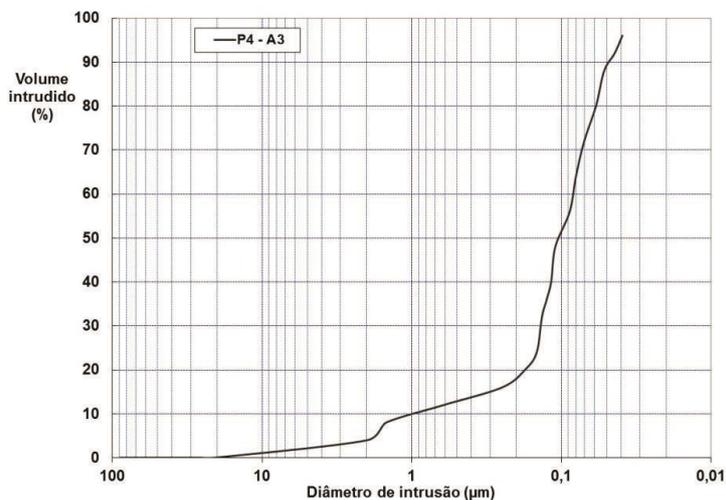


Figura 8. Gráficos das análises por Porosimetria de Mercúrio dos pontos 4, 11 e 15

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

De acordo com o levantamento das seções geológicas, as argilas da Formação Corumbataí na área de estudo podem ser classificadas nas litofácies: Maciça (M), Siltito Laminado (SL), Intercalada (IS), Intercalada Arenosa (IA), Alterada (A), apresentando uma granocrescência ascendente. Como estruturas sedimentares observa-se a presença de estruturas sedimentares maciças e laminadas na base passando para laminações cruzadas e flaser nas porções superiores dos pontos estudados. De acordo com a descrição macroscópica, observou-se que as amostras são representadas por siltitos de cores vermelho, verde claro, cinza e roxo, apresentando estruturas maciças nas litofácies basais passando para estruturas lenticulares e cruzadas nas porções superiores. As amostras dos pontos 4 e 11 apresentaram uma textura mais arenosa do que as amostras do ponto 15.

De um modo geral, os minerais granulares representados principalmente por quartzo e feldspatos detríticos, albita e carbonatos, aumentam para o topo dos perfis estudados, exceto no material mais exposto. Já em relação aos filossilicatos ocorre o predomínio da illita nas porções basais e intermediárias e da caulinita e esmectitas nas porções superiores. Os minerais carbonáticos calcita e dolomita ocorrem com frequência elevada nas amostras do ponto 11 destacando a dolomita na amostra P11-A2 e a calcita no ponto P11-A5. A elevada presença destes minerais é confirmada pela alta porcentagem do CaO nas análises dos elementos maiores por ICP OES/MS com valores de 8,81% para a amostra P11-A2, de 21,41% para a amostra P11-A5 e de 4,84% de MgO para a amostra P11-A5. As amostras do ponto 11 representaram maiores teores de elementos alcalinos terrosos devido à presença de carbonatos (Figura 5), que proporcionaram maior porosidade e conseqüentemente enquadradas no grupo BIII (Tabela III).

De acordo com Costa (2006) e Zanardo et al. (2006) os sedimentos da Formação Corumbataí classificaram-se morfologicamente, segundo Izawa (1986), por um sistema dominado pela rocha e estabelecido por condução térmica a partir de uma fonte de calor, dada pela proximidade com corpos de diabásio. Costa

(2006) interpreta que os sedimentos da Formação Corumbataí sofreram várias fases de evolução diagenético-hidrotermal, sob condições oxidantes e clima árido com precipitação de evaporitos, carbonatos e óxido de ferro, formando cimentos e originando a cor vermelha. O carbonato é essencialmente calcita. Este ocorre como uma fase tardia discordante, normalmente formando venulações no interior dos próprios veios ou preenchendo microfaturas. Com o prosseguimento do soterramento a compactação resulta na diminuição da porosidade e percolação de fluídos. Nesta fase pode ocorrer o enriquecimento de Na resultando na formação do feldspato do tipo albita. Posteriormente, com a injeção de nova fase fluida impulsionada pelo magmatismo basáltico, reabrem fraturas existentes, onde os óxidos de ferro são dissolvidos, sendo parte incorporada a estrutura da illita e a outra parte dando origem aos minerais do grupo da caulinita.

Os feldspatos frequentemente ocorrem na porção intermediária e no topo da Formação Corumbataí, sendo de dois tipos: detrítico (microclíneo) e autigênico (albita). A preservação dos feldspatos como constituintes do arcabouço desses níveis estratigráficos indica também que o intemperismo químico não foi tão acentuado capaz de eliminá-los durante o transporte. Isso possivelmente pode estar relacionado ao clima árido do Permiano, bem como, à proximidade da área fonte.

A silicificação está relacionada aos estágios finais da fase diagenética e ao início da atividade hidrotermal, estando representada pelo enriquecimento de sílica nos níveis mais granulares intercalados no siltito variegado, nos locais mais alterados do siltito carbonático, nos halos de alteração dos veios e nos próprios veios (Costa, 2006).

As amostras do ponto 4 apresentaram um caráter mais refratários que as demais, dado pela presença elevada da caulinita e baixo conteúdo de álcalis, em relação aos pontos 11 e 15. Essa caulinita é comprovada pelos valores do Al₂O₃ encontrado na Fluorescência de raios X e pela presença nos difratogramas de raios X (Figura 4, 5 e 6). Já nas amostras do ponto 15, observa-se a presença do feldspato albita e

microclíneo, e dos filossilicatos illita e montmorillonita.

Observa-se que os filossilicatos caulinita e montmorillonita tendem a se concentrar nas porções superiores dos perfis estudados, nas litofácies intercalada e alterada. Já a illita se concentra nas porções basais, sendo encontrada com maiores frequências nas litofácies maciça e laminada.

O quartzo ocorre ao longo de todas as seções estudadas compondo a matriz, porém algumas vezes ele apresenta-se na forma de leitões concordantes ou veios discordantes ao acamamento. Já a calcita está diretamente associada à presença de carbonatos, seja formando cimento em níveis mais porosos (siltitos arenosos), concreções submilimétricas nos níveis pelíticos, bancos de calcários ou veios, sendo encontrada com maiores frequências nas porções intermediárias a superiores (Figura 5). Os feldspatos albita e microclíneo ocorrem em todas as litofácies encontradas, tendo uma leve concentração nas litofácies intercaladas pelo predomínio de silito arenoso.

Os resultados das amostras analisadas mostraram comportamento tecnológico próximo para os pontos 4 e 11 e distinto para o ponto 15. Nos pontos 4 e 11, as amostras são classificadas dentro do Grupo III de absorção de água, sendo denominado comercialmente como “poroso”. Já as amostras do ponto 15 apresentaram resultados ótimos, de acordo com o Grupo de absorção de água, sendo classificadas dentro do Grupo B1b comercialmente denominados de “grés”. Isto demonstra que a sinterização encontrou

melhores condições no material do ponto 15, tanto do ponto de vista mineralógico, como de distribuição de tamanho de partícula, resultante do processo de moagem, como mostram os resultados de porosidade e densidade aparente.

A densidade a seco das amostras do P15 (Tabela III), com valor médio de $1,92\text{g/cm}^3$, evidencia um melhor empacotamento dos grãos propiciado por um maior número de contatos intergranulares, contribuindo para um melhor processo de sinterização.

Observou-se na descrição de fácies nos trabalhos de campo, que as amostras dos pontos 4 e 11 apresentaram uma textura dos grãos mais arenosas e grossas em relação as amostras do ponto 15. Isto foi comprovado nas análises de granulometria por difração a laser, onde se observou uma distribuição mais homogênea e mais grossa em relação as amostras do ponto 15. As amostras do ponto 4 foram classificadas de acordo com a escala de *Wentworth* como siltitos grossos a areia muito fina, apresentando elevada frequência entre os intervalos de 1 a 100 μm e baixa frequência nas faixas granulométricas mais finas.

Já no ponto 15 observou-se uma maior plasticidade tanto na descrição de fácies, com predomínio das litofácies maciça e laminada representada por siltitos finos de coloração avermelhada, confirmada na análise granulométrica a laser, onde ocorreu uma melhor distribuição granulométrica entre as frequências analisadas, fato este que resultou em um melhor empacotamento dos grãos na prensagem, auxiliando a sinterização durante o processo de queima. Figura 8

CONCLUSÕES

Os estudos nas seções da Formação Corumbataí na área de estudo mostraram diferentes características geológicas e tecnológicas das amostras estudadas. A descrição de fácies realizada nos trabalhos de campo foi comprovada nos resultados tecnológicos encontrados, sendo que as amostras das seções dos pontos 4 e 11 apresentaram uma granulometria mais arenosa que as amostras da seção do Ponto 15, fato atribuído à mineralogia dominante em cada ponto: mais caulinita e menos illita e albita no

ponto 4; maior teor de carbonatos no ponto 11 e maior teor de illita e albita no ponto 15 a qual se reflete na distribuição granulométrica de moagem, responsável pelo empacotamento. Os resultados cerâmicos das amostras estudadas nestas seções foram classificadas dentro do Grupo BIII, sendo denominadas comercialmente de “Porosa”. Já as amostras da seção do ponto 15, apresentaram uma granulometria mais argilosa e um melhor empacotamento dos grãos durante o processo de prensagem, sendo classificadas dentro do

Grupo B1b, denominadas como “grés”. Os resultados das análises de distribuição de partículas aliado a análise da porosimetria de mercúrio comprovaram uma má distribuição dos grãos durante o processo de prensagem nas amostras dos pontos 4 e 11 evidenciada por uma concentração muito alta de sedimentos grossos entre a frequência de 1 a 100 µm e uma baixa frequência nas demais faixas granulométricas, gerando um mal preenchimento dos poros durante o processo de prensagem indicando um empacotamento dos grãos entre os materiais plásticos e não-plásticos, tais como o quartzo e feldspato relativamente baixo. Os resultados da análise de porosimetria de mercúrio na amostra P4-A3 seca a 110°C apresentou 80% dos poros com diâmetro de intrusão entre 0,05 e 1,00 µm e densidade aparente de 1,644 g/cm³, ao passo

que na amostra P11-A2, apresentou 80% dos poros presentes com diâmetros entre 0,04-0,7 µm e densidade aparente de 1,766 g/cm³ confirmando presença elevada de vazios nestas amostras.

Por outro lado, na amostra P15-A2 observou-se uma distribuição um pouco mais uniforme, com uma concentração mais alta de grãos na faixa de 1 a 10 µm (38,26%), o que propiciou um empacotamento mais eficiente. Estes resultados foram comprovados pela análise da porosimetria de mercúrios, constatando-se 80% dos poros com diâmetro entre 0,05-0,6 µm, e pela densidade aparente de 1,883 g/cm³, indicando uma melhor distribuição dos grãos para o processo de prensagem, favorecida pela maior presença de minerais argilosos nas amostras desta seção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo). Processo N°2012/24219-9.

REFERÊNCIAS

1. ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas Cerâmicas para Revestimentos**, 1997, Especificações e Métodos de Ensaio. 78pp.
2. BARBA, A. FELIU, C.; GARCÍA, J.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, V. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. Castellón, Instituto de Tecnologia Cerámica- AICE, 1997, 292p.
3. BARBOSA, O. & GOMES, F.A. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. **Boletim da Divisão de Geologia e Minas, DNPM**, Rio de Janeiro, n.171, p.1-40, 1958.
4. CHRISTOFOLETTI, S.R. **Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes**. Rio Claro, 2003, 307p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
5. COSTA, M.N.S. **Diagênese e alteração hidrotermal em rochas sedimentares da formação Corumbataí, Permiano Superior, Mina Granusso, Cordeirópolis/SP**. Rio Claro, 2006. 140p. Tese (Doutorado em Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
6. IZAWA, E. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. **The Society of Economic Resources**. Japan: Spec. Publication, 1986, 15 p.
7. LANDIM, P.M.B. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP). **Boletim. Divisão Geologia e Mineralogia, DNPM**, São Paulo, 252, 103 p, 1970.
8. MENDES J.C. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí: Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios. **Boletim da Faculdade de Ciência e Letras**, São Paulo, n.145, p.1-19. 1952.
9. MENDES, J.C. - **The Passa Dois Group**. In: Simpósio Internacional de Estratigrafia e Paleontologia do Gondwana, 1.º, Curitiba, 1967. Problems in Brazilian Gondwana ... Curitiba, Inst. de Geol., Univ. Fed. do Paraná. p.119-166, estampas 41-61.
10. MEZZALIRA, S. Grupo Estrada Nova. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v.41, p. 63-84, 1964.
11. MIALL, A. D. 1994. **Principles of sedimentary basin analysis**. Springer-Verlag, New York, 490p.
12. PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. **Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP**. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 2008. v. 1.
13. SIMOES, M.G. & FITTIPALDI, F.C. **Fósseis da Região de Rio Claro**. Arquivo do Município de Rio Claro, Rio Claro, 1992. 77 p.
14. SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. Aspectos Regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, 1973. **Anais...** Aracaju, SBG v.1, p. 243-256, 1973.
15. SOUZA, S.H.M. **Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1985, 142p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
16. SOUZA, P.E.C.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, .M.M.T.; V. F. CORRÊA. A Formação Corumbataí nos Municípios de Tambaú e Limeira - SP: Fonte de Matéria-prima para o Segmento de Porcelanato e Semi-grés, **Cerâmica Industrial**, 15 (4) Julho/Agosto, 2010.
17. SOUZA, P.E.C.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M.M.T.; FRANCISCO, A.C. Adição de uma fácies argilosa expansiva da Formação Corumbataí da cidade de Porto Ferreira a uma massa básica utilizada no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes pelo processo via-seca. In: **CONGRESSO**

BRASILEIRO DE CERÂMICA, 55, Porto de Galinhas, 2011. Anais. 2011
18. ZANARDO, A.; MORENO, M.M.T.; ROVERI, C.D.; PRADO, A. C. de A.; MASSON, M. R.; MOTTA, J. F. M.; IBRAHIM, L. Mineralogical and Textural Characteristics of the Raw Material used in Dry Milling in the Ceramic Pole of Santa Gertrudes -Brazil. In: **IX World Congress on Ceramic Tile Quality - Qualicer**, 2006, Castellón - Espanha. Qualicer 2006. Castellón: CÁMARA CASTELLÓN E COLÉGIO

OFICIAL DE INGENIEROS SUPERIORES INDUSTRIALES, 2006. v. 3. p. 181-184.
19. WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments, *J. Geology*, 30:377-392 (1922).

Manuscrito recebido em: 02 de Outubro de 2014
Revisado e Aceito em: 05 de Agosto de 2015